睾酮与人类决策行为

廖嘉俊 [1,2] 李红 [1,2] 吴寅 [1,2]

（[1]深圳情绪与社会认知科学重点实验室，深圳 518060）（[2]深圳大学心理与社会学院，深圳，518060）

摘 要：睾酮是一种类固醇激素，主要的雄性激素之一，在神经科学与神经内分泌学领域中，早期研究发现睾酮会对人类的攻击性、社会交往、冲动性等方面产生一定的影响；因此心理学研究者开始关注睾酮与决策之间的关系，包括社会性决策的信任、合作、利他与竞争方面以及经济性决策的风险决策。多项研究显示，睾酮的水平与经济性决策中的风险寻求行为呈正相关关系；在社会性决策领域中，高水平睾酮的个体会趋向于更高的攻击性、支配性和公平性行为，同时表现出更低的人际信任。然而这些研究结果间也存在难以重复验证的现象，需要更多的研究探寻可能影响睾酮与决策的其他因素。未来对睾酮与决策的研究可以关注睾酮与消费决策领域、探寻青少年睾酮水平与社会行为的关系以及临床应用等。

关键词 睾酮；决策；风险寻求；信任；公平

现代心理学的发展已经趋近多元化、学科交叉化，尤其在社会认知、决策行为等领域，心理学的研究往往与神经科学、神经内分泌学、神经经济学等关联学科有着紧密的联系。本文从当前心理学与神经内分泌学领域关注密切的激素——睾酮出发，介绍睾酮与人类决策行为的关系与影响。虽然当前睾酮与人类决策行为的研究已经有较多的发现，但是并未能得到充分一致的结果，因此，睾酮与人类决策的关系仍然有许多研究的潜力与空间。

1 睾酮

睾酮是一种类固醇激素，主要由男性睾丸的间质细胞产生，在女性体内也有少量存在，卵巢和肾上腺都可以分泌睾酮，分泌量大致相等，约为男性体内睾酮含量的 1/8。对于男性的生殖与生理发育来说，睾酮起着关键的作用 (Adkins-Regan, 2005; Dixson, 1998;Wingfield et al., 1990)，尤其是对于第二性征的发育，例如男性的肌肉质量、骨骼密度以及身体毛发等。除了生理作用之外，睾酮对人的心理方面如敌意(Hartgens & Kuipers, 2004）、攻击性(Archer, 2006)、交际需求（Roney et al., 2007）以及感觉寻求（Roberti, 2004）等也会有影响。

睾酮的作用可以分为两种，一种是组织作用（organization effect），一般作用于个体发育的早期，能够影响身体的组织和神经系统，并促进其逐渐发育成熟。哺乳动物的生育方式决定了胎儿会受到母亲雌性激素的影响，因此胎儿期的发育主要是依照女性的发育模式，但是睾酮可以改变这样的模式，导致性别的分化，影响个体的生理层面；到了成年期，睾酮的作用主要是对个体的行为和性功能起到激活作用（activational effect），即睾酮进入个体循

收稿日期: 2018-04-07

*国家自然科学基金(31872784, 31600923)，深圳大学教改项目(JG2018084)，深圳大学人文社科项目(17QNFC44)资助

通讯作者: 吴寅, E-mail: yinwu0407@gmail.com

环系统，对器官与组织进行了激活（刘金婷等，2013）。这种作用是暂时的、可逆的，没有器质上的改变，主要影响个体的心理层面，例如，在感知觉方面，Van Goozen 等人（1999）发现男性在接受睾酮治疗后的视觉空间能力显着增加；在语言方面，一项研究发现，对老年男性注射单剂量睾酮能够阻碍言语流畅性的练习效果，但对空间或言语记忆没有影响（Wolf et al., 2000）。

在睾酮的相关研究中，常用的方法有三种：一是对个体内源性睾酮的基线水平进行测量后，将不同水平的被试分组，观察不同水平睾酮的个体在任务中的行为倾向；二是组织效应的测量，一般认为，食指和无名指的长度比例（2D:4D，Ratio Digit）反映了个体在出生前的睾酮暴露浓度，即产前睾酮水平。手指比越低则暴露的睾酮越多，越具有男性化特征（Manning et al.，1998）。早期研究发现了 2D:4D 与攻击性、性取向的相关，并且这种相关是性别分离的，仅在男性中有观察到（Bailey & Hurd, 2005; Lippa, 2003）。此外还发现 2D:4D 的比例与孤独症有关，有假设认为，自闭症的成因是产前暴露睾酮浓度过高，研究发现孤独症儿童亲属的 2D:4D 低于人口均值，儿童本身的 2D:4D 和亲属的 2D:4D 呈正相关，因此认为 2D:4D 可能是孤独症的标记（Manning et al., 2001）。

在动物研究中发现，除了产前性激素暴露的水平会影响大脑之外，青春期的性激素水平也会对大脑有明显的组织作用（Schulz et al., 2009）。在这一阶段，睾酮和雌激素的比例是通过面部二态性来表征的，睾酮会促进男性下巴、颧骨、眉毛和面部毛发的生长，在女性中则受到抑制（Thornhill & Møller, 1997）。Weston 等人（2004）对面部宽和高的比例（facial width-to-height ratio, fWHR）进行了测量，发现男性比起女性有着更高的 fWHR（Weston et al., 2004）。食指和无名指的比例以及面部宽和高的比例统称为睾酮的组织效应，是一种简易测量的方法。

三是外部给药（Testosterone Administration）：除了直接测量个体体内的睾酮水平，或者通过实验操作使个体内源性睾酮水平发生变化外，还可以用外部给药的方法来对个体睾酮水平进行操纵从而呈现差异，常见的给药方式有：1.舌下给药法，该方法能够保证所有剂量的睾酮都能够进入血液循环系统，避免被肝代谢掉，这种方法多用于女性被试（Tuiten et al., 2000）；2.皮下给药法，男性被试由于睾酮基线水平较高，一般采用皮下给药，即将睾酮试剂均匀涂抹于胸口以及上臂等处（Eisenegger et al., 2013）。睾酮给药对个体激活作用的测量，主要通过收集唾液或者血液并分析其中的睾酮含量进行，唾液采集更为简便，而血液测量则更为准确。外部给药操纵直接，对睾酮水平的改变较为显著，能够提供睾酮与决策因果关系的证据，因此在睾酮研究中具有重要的意义。

2 睾酮框架下的决策研究

决策是一种“在各种可能的方案中考虑各项因素后做出选择”的认知、思考过程（Janis & Mann, 1977）。在神经经济学中，根据决策是否涉及他人，又可将决策分为社会性决策和经济性决策（Rilling & Sanfey, 2011; Fehr & Camerer, 2007）。先前研究者们都试图去理解决策的脑机制，而对激素的作用关注不多（Apicella，Carré，& Dreber，2014）。有观点认为，行为更多的由高阶的脑机制所驱动，激素应当对行为并无明显影响。虽然在人类中激素与行为的单一联结十分少见，但是仍然有越来越多的证据显示激素与行为倾向之间的联系（Bos et al., 2012; Starcke & Brand, 2012; Strang et al., 2017），并且，固醇类激素也确实可以通过基因或者非基因的途径对大脑造成影响，睾酮可以和雄激素受体（androgen receptors）结合，对大脑中的基因表达做出调节，还可以起到神经活性类固醇的作用，对神经兴奋性进行调节（Do Rego et al，2009）。因此，激素可能会通过影响大脑的神经活动或者是基因的表达来对决策产生作用，并且已有研究发现，特定的神经递质、激素以及它们的遗传变异也会影响人类的决策行为（李纾，梁竹苑，孙彦，2012）；考虑到这些因素，激素与决策行为之间的联系是一个值得探索的问题。

2.1 睾酮与社会性决策

社会性决策是指决策者在决策过程中需要考虑到与对家互动的一种选择（刘金婷等，2013）。对社会性决策的研究主要是根据实验经济学中的博弈论任务来设计的，博弈论是一种严谨的模型，与传统的决策经济模型相比，博弈论任务能够考虑到纳什均衡，即参与者是理性的、从自我利益角度出发去做出决策（Sanfey，2007）。根据神经机制来分类，社会性决策又可以分为公平、信任、利他、报复、社会惩罚、社会规范化、社会学习、竞争等方面（Rilling & Sanfey，2011）。目前，睾酮与决策的研究处于起步阶段，在社会性决策与睾酮的研究中，当前的研究主要集中在公平、信任、竞争、利他四个方面，并且取得了较为丰富的结果，而其他社会性决策类型研究较少，未来的研究应当关注更多的社会性决策类型。

2.1.1 睾酮对公平的影响

最后通牒游戏（Ultimatum Game, UG）被较多的用于研究社会决策中的公平行为和亲社会行为。在这个游戏中，两个参与者需要分享一定数量的金钱，并且参与者同时被分为提出者(proposer)以及反应者（responder），提出者提出金钱分配方案，反应者可以选择接受或者不接受提出者的方案，若接受，则按照提出者的方案分配；若不接受，则两人都不会得到一分钱。假设个体完全从自我利益最大化的角度出发，当他作为反应者时，无论提出者提出

了什么样的方案都应该接受;作为提出者时,提出的方案也应该是给对方无限小的金钱数量。但是在实际游戏中发现，提出的方案一般是趋近于对半分的，而那些给对方金钱数量比自己的少 20%以上的方案，会有接近 50%的概率被反应者否决掉（Güth et al.，1982）。因此，在最后通牒游戏中，个体并不仅仅从自我利益角度做出决策。例如，在拒绝不公平方案时，前脑岛被显著激活，说明情绪在决策中也有着重要的作用（Sanfey，2003）。

Mehta 和 Beer（2010）通过研究睾酮和最后通牒博弈任务发现，在最后通牒博弈游戏中，较高的内源性睾酮和分配方案的拒绝率是正相关的，提出者更倾向于提出不公平的方案，而反应者对方案的拒绝率也与内源性睾酮的水平呈正相关关系；同时，fMRI 结果显示，睾酮的作用使得眶额皮层的活动性下降，表明睾酮可能减少了个体的抑制能力，从而增加了攻击性行为的倾向。在最后通牒博弈中，拒绝不公平的方案被视为是反应者的一种反应性攻击（reactive aggression），即使需要付出一定的成本，也要给提出者造成经济损失（Probst et al., 2018）。然而这并不能说明较高的睾酮水平会导致提出者容易出现不公平行为，Eisenegger 等通过最后通牒游戏对睾酮给药的女性进行研究，发现当睾酮给药的被试作为方案的提出者时，往往会提出给对方较多金额的方案；Eisenegger 将这种结果解释为这种亲社会行为是为了防止自身的社会地位受到挑战而引起的，睾酮更能够引发这种防御倾向（Eisenegger et al., 2010）。综合上述研究结果可以看出，内源性睾酮水平较高的个体对公平性更为敏感，而且面对不公平方案时更容易做出一些反应性攻击行为，如拒绝等，但是并不一定会做出不公平行为，个体的行为倾向和自身的社会地位有一定的关联。

2.1.2 睾酮对信任的影响

在社会性决策中，信任同样是一个重要的行为，在研究信任决策时采用较多的范式是信任博弈。在一场信任博弈会有两个参加者，分为投资者（investor）和受托人（trustee），投资者在游戏初期拥有一定数量的本金，并且可以决定将一部分的金额转移到受托人处，这部分金钱将会增值若干倍，同时受托人返还一定数量的金钱（Berg, Dickhaut, & McCabe, 1995）。Berg 等人发现，在本金为 10 美元，投资翻倍为 3 倍的情况下，按照纳什均衡预测，投资人的最优方案应该是给予受托人 0 元（即不进行投资），但是实际情况却是有 30 名投资人（总共 32 名）都进行了投资行为，并且投资的平均金额为 5.16 美金，说明了信任行为的存在，而且信任行为也可以被其他因素所调节，若在做决策前先让投资者阅读一段关于受托人的生动的描述，描述分为好的、中性的以及存疑的三种，好的描述会增加投资人的投资率（Delgado, Frank, & Phelps，2005）。

催产素（Oxytocin）是一种能够增加人际信任的激素（Kosfeld et al., 2005），睾酮可能

与催产素存在拮抗作用，在与催产素的对照实验中验证了睾酮降低了人际信任的结果（Bos, Terburg, & van Honk, 2010）。之后，Boksem 等人对 54 名女性被试进行舌下睾酮给药处理后进行决策研究，在社会性决策中观察到了结果，单剂量 0.5mg 给药处理的被试在信任任务中作为投资者时，对受托人的信任程度降低；然而当作为受托人返还投资金额时又会变得更慷慨。Boksem 等据此推论，睾酮与社会地位可能有关系，进行了外部睾酮给药的个体对自身社会地位的认知会更为敏感，当个体作为投资人时，个体认为自身处于较高的社会地位，而投资这一行为有可能会改变自己的社会地位，因此更容易做出反社会行为，即降低受托人的信任；若是个体本身社会地位较低，没有受到社会地位的挑战时，睾酮又可能会增加亲社会行为，即在返还金额时会返还更多金额（Boksem et al., 2014）；Buskens 等人（2016）对一般女性被试使用了相似的信任任务，但是任务中包含多轮游戏，同时研究睾酮给药处理和产前睾酮水平的作用，发现对于产前睾酮水平高的个体而言，睾酮减少了投资。Buskens 等人还发现，多轮信任游戏要比一轮信任游戏更能增加被试的可靠性和对他人的信任感，但是对于那些 2D:4D 较低，即产前睾酮暴露水平较高的被试来说，在外部给药后，这种现象会消失，Buskens 等认为，反复进行信任游戏比起单轮游戏，投资者更为信任对方，受托人也更为可信，但是这一效应会被睾酮所带来的认知移情受损所降低，可能是睾酮降低了个体进行观点采择的能力。

2.1.3 睾酮对竞争的影响

竞争一般和攻击性与支配性相关，在社会性决策方面，较多研究支持睾酮水平与攻击性行为、社会支配等活动有关联（van Honk et al., 2001；Mehta, Jones & Josephs, 2008; van Honk & Schutter, 2007）。现代社会中的竞争往往比较微妙，而不是像原始社会那样主要通过身体上的斗争来表现（Wirth , Welsh & Schultheiss , 2007），更多的表现为对社会地位以及经济水平的追求。

在组织效应方面，Carré 和 McCormick 开始了对 fWHR 和攻击性的研究：在对男性曲棍球员的研究中发现， fWHR 较高的球员在比赛中表现的攻击性更强（Carré & McCormick ，2008）；在男性大学生群体中也得到了类似的结果（Carré, McCormick, & Mondloch, 2009）；Stirrat 和 Perrett 发现拥有较高 fWHR 的男性更有可能利用他人的信任；而对于合作者而言，他们更愿意选择拥有较窄面孔（fWHR 较低）的同伴（Stirrat and Perrett，2010）；fWHR 也和精神病性人格特质存在关系，在男性监狱服刑人员和男性大学生中都观察到了 fWHR 对无畏支配的预测作用，说明了睾酮可能对精神病性人格发展有影响作用（Anderl et al., 2016）。精神病性人格个体往往具有较高的攻击性，在现代社会中表现为更强烈的竞争意愿或是在竞

争中表现出恶意，但是，对于 fWHR 与决策行为的研究至今仍是空白，需要进行探索以揭示青春期睾酮的组织效应对决策的影响。

睾酮也并不完全导致竞争结果，还可能会促进合作、利他行为或者提高社会规范。van Honk 等利用公共物品博弈（Public goods game）发现了在右手 2D:4D 低的情况下，睾酮给药增加了被试社会合作性，揭示了个体产前睾酮暴露的个体差异对社会合作的影响（van Honk et al., 2012）。Diekhof 等人对睾酮与狭义利他主义（对群体内的人产生偏好，对群体外的人产生敌意）的关系进行了研究，结果显示，高睾酮水平增强了个体的内群体偏好，对于群体外的成员则增加了敌意，因此 Diekhof 等人认为，睾酮并不完全会促进反社会行为与攻击行为，在群体内部会有一些认知上的微调（Diekhof, Wittmer & Reimers, 2014）；这一结果和 Dreher 等人的研究相符合，Dreher 等人在外源性睾酮给药后的最后通牒博弈游戏中发现，在施加了安慰剂的控制组被试群体中，内源性睾酮水平高的被试更多的对不公平的分配方案做出惩罚，或者对公平的方案做出奖励(Dreher et al., 2016）。

此外，在一种名为"信任游戏"（Games of Trust）的社会互动中，如果参与者感受到了对方表现出了竞争性，那么参与者不会产生互惠合作的行为；若参与者能够感受到对方具有强烈的道德姿态，那么双方互惠合作就是可行的（Güth & Kliemt，1994），因此道德和竞争之间可能存在一定关联，即较高的道德可能会导致双方出现与竞争条件下相反的行为，如合作，利他等；然而睾酮与道德、竞争相关的研究却十分有限，所得的结论也较为浅显。有假说认为，睾酮会影响道德推理，男性在道德决策上会比女性表现出更功利的倾向，但是缺乏实证研究的证据（Fumagalli et al., 2010）。Montoya 等人对外源性睾酮给药及 2D:4D 对个体道德判断的影响进行了探究，通过道德判断任务，Montoya 等观察到，在睾酮给药后，倾向于功利性选择的被试 2D:4D 往往高于平均值，即产前雌二醇暴露的水平较高；而在睾酮给药后倾向于义务性选择的被试，2D:4D 要低于平均值，反映了产前睾酮暴露水平较高。Montoya 等人的研究结果表明，性类固醇的早期神经发育会影响后来荷尔蒙对道德推理的激活作用（Montoya et al., 2013）。 Schurr 和 Ritov（2016）研究发现，在竞争中获胜的个体更可能会在无关任务中窃取对方的金钱，而且这一效应仅在获胜中被观察到，意味着比其他人表现更好的情况下，即竞争获胜会导致个体为了增强社会地位而出现后续的不道德行为。未来关于睾酮、道德与竞争的研究还应该深入探寻三者之间的关系，睾酮是否能改变个体的道德感进而影响竞争行为？是否还会受到其他因素的调节？这些都是值得关注的方面。

可以发现，睾酮与各方面的社会性决策并不是简单的相关关系，在许多研究中都发现了睾酮对社会性决策双向的改变，有的能够使个体变得反社会，而有的却能够增加个体的亲社

会行为倾向（Archer, 2006; Izuma, Saito & Sadato, 2010; Iredale, Van Vugt &Dunbar, 2008; Dreher et al., 2016）。同时，在这些研究中，研究者均发现了被试对社会地位认知的改变。因此，对于自身社会地位的认知很可能在睾酮与社会性决策之间起到中介的作用，例如较高的睾酮水平使得个体获得了较高的社会地位认知，使得个体更愿意做出亲社会行为以维持自身的社会地位；而较低的睾酮水平使得个体获得较低的社会地位认知，为了获取更高的社会地位，个体倾向于做出反社会行为，如攻击、恶意竞争等来获取较高的社会地位；睾酮的激活作用和组织作用又可能对个体对自身社会地位的认知存在交互效应，在后续的睾酮与社会性决策研究中，都应当考虑测量被试的睾酮水平以及睾酮组织效应，并且从各种层面去测量被试对自身社会地位的认知，以研究个体对社会地位的认知的中介作用。

此外，经典的实验范式主要是基于匿名性设计的，经济学领域的研究者想要通过匿名性来消除合作者个人信息以及名誉带来的影响，但是对心理学研究者来说，这些特征会对决策产生影响，而且这也更为贴合现实情境，是值得考虑的因素。在开展后续研究时，应当关注新提出的、更符合现实情境的实验范式。

2.2 睾酮与经济性决策

相比于社会性决策，经济性决策是一种没有其他参与者或者社会交互的决策类型，要求决策者对各种经济活动的可能性进行选择与决断（刘金婷等，2013）。经济性决策又可以分为风险寻求，模糊厌恶，损失厌恶，延迟折扣以及框架效应等。但是目前睾酮与经济性决策的研究主要集中在睾酮与风险寻求行为上，其他方面的研究则相对较少（Stanton，2017），本文接下来将分别从三种不同的睾酮给药方式对睾酮与风险决策的研究进行综述。

风险决策是指个体根据自身对风险寻求程度以及对奖励的敏感性进行决策，即在期望值相同的条件下，根据对风险的偏好做出决策。假设有两个选项，一是可以确定获得 50 元；二是可以进行一次赌博，有 50%的概率获得 100 元，有 50%的概率获得 0 元，两个选项的期望值是相等的，都为 50 元；如果个体在面对这两个选项时没有任何偏向，则这个个体被认为是风险中立的（risk neutral）；如果个体更喜欢赌博选项，那么他会被认为是风险寻求的（risk taking）；相反地，如果个体更喜欢确定的获益选项，即确定获得 50 元，则他会被认为是风险厌恶的（risk averse），除了金钱之外，其他生活事件也会包含风险因素（Apicella，2014）。

个体对风险的偏好情况并不是稳定不变的，而是根据条件和环境的不同变化的，甚至可以发生完全翻转的情况（Tversky，1990），并且存在明显的个体差异。在赌博类型的任务

中发现，被试的年龄、性别、受教育程度、社会经济条件等人口学因素都会导致风险寻求的改变 （Barsky et al.，1997; Dohmen et al.，2011），例如在较低经济发展条件下成长的个体会比经济发展较高的个体表现出更多的风险规避行为（Malmendier & Nagel，2011）。目前对风险决策的研究多基于传统的经济心理学理论（期望效用理论、前景理论、风险敏感性理论）以及脑部神经活动，而对一些生理层面的因素则较少关注，未来研究可以加入对生理因素如基因多态性、激素影响等方面的考虑。

2.2.1 内源性睾酮与风险决策

第一个直接研究睾酮与风险寻求关联的是 Apicella 等(2008)进行的实验，在 95 名 18-23 岁健康男性被试群体中，Apicella 等通过投资任务发现了睾酮的水平与风险寻求呈现正相关的关系。风险寻求通过投资任务来测量，先给予被试 250 元的本金，之后被试可以自由选择在本金中取出多少进行投资，投资成功和失败的概率都为 50%，如果成功，被试不仅可以收回投资金额，还可以额外获得投资金额 1.5 倍的利益，若投资失败，则被试会失去投资部分的金额（Gneezy & Potters, 1997)。结果显示，唾液内睾酮高于平均水平一个标准差的被试会在投资任务中多投入 12%的本金（Apicella et al., 2008）。

除了直接测量个体内源性睾酮的水平来检验睾酮与风险寻求的关系外，Apicella 等人（2014）还探究了胜负结果与睾酮以及风险寻求的关系。先将所有男性被试两两分组，在女性主试的引导下先进行 15 轮的剪刀石头布的游戏，同时被试又会分为两组，一组初始金钱为 15 美元，另一组初始金钱为 5 美元，在 15 轮剪刀石头布的游戏过后，获胜的被试可以赢得对手的 5 美元，为了消除金钱收益对睾酮以及胜负结果的影响，选用 15 元组输的被试以及 5 元组获胜的被试作为对比，使得两组被试在游戏中的收益相等(游戏过后都为 10 美元)，同时收集被试的唾液。下一步是让被试在计算机上完成风险诱发任务（risk elicitation task），一共有十对选择，一是确定的获得 1-10 美元，二是有 50%的概率获得 10 美元（Holt & Laury., 2002），风险偏好通过被试选择确定获得金钱的次数来测量，平均值为 5.5，代表对风险的中性态度。唾液检测的结果显示，剪刀石头布游戏的输赢对个体的睾酮水平有改变，获胜的被试唾液内的睾酮水平比输的被试高 12%，但是没有能够达到显著水平，并且险胜的被试睾酮水平会更高，但是比赛前后，无论胜负结果，73%的被试睾酮总体水平有 26%的增幅。通过回归分析发现，被试的睾酮水平和风险寻求呈正性关系，睾酮水平越高，被试在风险诱发任务中的风险回避指数越低，更倾向于冒险行为；结果也表明了游戏的胜负并不决定个体对风险的态度，个体睾酮水平的变化才是导致风险寻求的根本原因（Apicella, Dreber & Mollerstrom，2014）。Carney 等人对高低权力姿态进行研究，发现了高权力姿态能够提高

睾酮含量，降低皮质醇（Cortisol）的含量，对风险有着更低的敏感性（Carney, Cuddy & Yap, 2010）；Apicella 试图研究权力姿态、睾酮与风险寻求的关系，但是并未能发现权力姿态引起体内睾酮水平的显著性变化（Smi & Apicella, 2017）。

Apicella 的研究在睾酮与决策行为领域具有开创性和参考意义，因此很多后续研究都参照 Apicella 的实验范式。Sapienza 等人利用相似的风险诱发任务来研究睾酮与决策的关系，被试需要经历 15 对选择，其中一个选项是固定的风险选项，50%的几率获得 200 美元，50%的几率获得 0 美元；另一个选项是确定获得一定数量的美元，从 50 美元到 120 美元以 5 美元为单位递增；被试群体特别选用了 460 名 MBA 学生，由于专业的原因，被试对风险的敏感程度较高。与 Apicella 的实验不同的地方在于包含了 140 名女性被试。然而，在 Sapienza 的研究中，男性被试并未能取得和 Apicella 相一致的结果，但是在女性被试群体中他们观察到睾酮水平与风险寻求呈正相关关系；而且进一步分析发现，在睾酮水平含量相对较低的被试群体中（90%的女性被试以及 31%的男性被试），睾酮的水平越高，对风险的偏好程度越高（Sapienza et al., 2009）。虽然 Sapienza 的实验未能重复 Apicella 的结果，但是增加了女性被试，使得性别成为睾酮研究中一个重要的变量。Casto 和 Prasad（2017）提出了五条关于女性与睾酮相关研究的建议，包括：1.在实验设计中加入女性作为性别变量；2.采用更具包容性的竞争和地位激励行为的理论模型；3.考虑其他荷尔蒙的作用（如雌二醇与孕酮）；4.进行男女混合样本统计模型中，性别与其他预测因子相互作用的检验；5.在探索性别差异时，同时考虑性别的相似性。

在经济性决策中，除了风险寻求外，对模糊概率的偏好（ambiguity preferences）以及对损失的厌恶（loss aversion）也是经济性决策中重要的心理现象。Stanton 等人（2011）对风险诱发任务做出了修改，选择增加到 120 对，其中测量风险偏好的试次分为确定选项和赌博选项：确定选项的为 3 美金到 7 美金，以 1 美金为单位变化；赌博选项获胜的概率分为 25%、50%、75%三种，赌博选项的和确定选项的期望值比率有八种可能，从最低 0.5 到最高 3.0。模糊偏好通过 35 个试次来测量，同样分为两个选项，确定选项和风险偏好的确定选项一致，对应的赌博选项不显示具体的概率，期望值以 0.5 的概率计算，赌博与确定的期望值比率分为六种，从 0.5 到 6.0。在损失回避的任务中，被试会先收到 20 美金作为本金，随后被试要选择是否进行赌博，有 50%的几率输掉一些钱（从 6 美金到 20 美金，以 2 美金为单位变化），有 50%的概率赢得一些钱（从 12 美金到 40 美金，以 4 美金为单位变化），一共有 64 次选择，根据被试的选择构造矩阵进行损失回避行为的测量。一共招募了 298 名被试，其中男性 142 名，女性 156 名，研究结果发现了睾酮与风险偏好之间的非线性关系，睾酮水平较高的

个体和较低的个体都更倾向于寻求风险，这一现象在男女两个被试群体内都有体现；在模糊偏好任务中也体现了这样的 U 型曲线关系，但是在损失回避任务中没有观察到显著的关联。Stanton 等人的研究相对于先前研究来说，在变量的选择上更为周全，考虑了经济性决策的其他决策行为，拓宽了睾酮与决策的研究范围。

随着相关研究的进行，除了对经济性决策中的典型心理现象进行延伸探究外，睾酮与其他激素对于决策行为的协同作用也逐渐进入了研究者的视野里。Schipper 参考了风险启动任务，他观察了 208 名被试（115 名男性，93 名女性）在收益与损失条件下的十对选择反应，输或赢的概率从 10%到 100%不等，风险偏好是通过转变点推测的，即被试从比较安全的赌博选项转换到风险更大的赌博选项（例如一组选项是获得 3.20 美金或 4 美金，另一组选项是获得 0.20 美金或 7.70 美金，后者风险更大）。结果显示，男性被试在获益条件下，睾酮水平和风险寻求呈现正相关，但是在损失条件下没有观察到这种现象；对于女性来说，无论在哪种条件下，睾酮和风险都没有关系。Schipper 还测量了其他激素的水平，发现皮质醇和女性的风险寻求呈现负相关的关系，但是在男性被试群体中却没有这种现象（2012）。Schipper 的研究发现了皮质醇对风险寻求也有影响，为双激素调节假设提供了事实依据。

人体的神经内分泌和免疫系统之间的双向交互性在成年的内分泌和免疫活动中起到着关键的作用，即 HPG（hypothalamic–pituitary–gonadal，下丘脑 - 垂体 - 性腺）与 HPA（hypothalamic–pituitary–adrenocortical，下丘脑 - 垂体 - 肾上腺皮质）的交互作用。据此，有研究者提出，睾酮对决策的作用并非是孤立的，会与皮质醇一同影响决策过程，即双荷尔蒙假设（dual-hormone hypothesis），在低水平的皮质醇下，睾酮会影响状态相关行为 ，反之则不一定会存在这种影响（Popma et al., 2007）。Mehta 等人（2015）基于双荷尔蒙假设设计了两个实验：实验一：115 名不同性别的被试采用自我报告和量表的方式测量他们的风险偏好状况；实验二：165 名男性被试参与气球模拟风险任务（Balloon Analog Risk Task，BART）来衡量风险偏好，被试需要在计算机上给 30 个虚拟的气球进行充气，每打一次气，被试可以获得 0.5 美分，气球会在打 1-30 次气的范围内随机爆炸，若气球爆炸则被试会失去在这个气球上获得的奖赏，被试也可以随时停止当前气球的充气，进入到下一个气球的充气操作以保存奖赏，这样一来，每一次被试选择是否充气就是一次风险决策，以没有爆炸的气球的平均充气次数作为被试风险寻求的指标，同时测定被试唾液内的睾酮与皮质醇水平。两个实验的研究结果较为一致，无论是男女被试，无论是在自我评定、量表测定或者是行为数据上，低皮质醇被试都存在睾酮与风险寻求的正相关关系，而且在高皮质醇被试群体内没有观察到这种正相关的关系。同样地，Barel 等人也对双荷尔蒙假说做了相似的探究，40 名

女性被试和 37 名男性被试用自我报告的方式来测量他们的风险寻求倾向，并且测量被试的性激素与皮质醇的比例。在男性被试群体中，睾酮与皮质醇的比例越高，越容易寻求风险；在女性被试群体中则相反（Barel, Shahrabani & Tzischinsky, 2017）。

2.2.2 睾酮外部给药与风险决策

虽然外部给药法的操纵明显，效应强，但是使用该方法的相关研究却并不多。开始研究外部睾酮给药与决策任务的是 van Honk 等，采用爱荷华赌博任务（IOWA Gambling Task）探究在安慰剂控制、双盲给药的条件下女性被试的风险寻求偏好，研究结果发现，相对于安慰剂组，接受了睾酮试剂处理组的被试在爱荷华赌博任务的收益和损失条件下都表现出了风险寻求的倾向，同时根据结果，van Honk 等人也认为，这种决策模式是非理性的，并且为睾酮与精神病之间的联系提供了线索（van Honk et al., 2004）；

同样地，Goudriaan 等人（2010）尝试验证 van Honk 等（2004）的实验结果，采用了三种风险决策任务，包括爱荷华赌博任务、气球模拟风险任务以及骰子任务游戏（Game of Dice Task），被试采用男性被试，试剂使用了芳香酶抑制剂，该试剂能够抑制睾酮转变为雌二醇的过程从而提高被试睾酮水平含量。结果只有气球模拟风险任务中发现了被试的风险寻求会受到高睾酮水平的影响，而在其他两个任务中并没有体现（Goudriaan et al.，2010）。Zethraeus 等人对 200 名绝经后女性被试群体进行给药研究，研究周期较长，一共持续四周，被试被随机分成三组接受双盲的给药处理，一组接受睾酮（40mg/天），一组接受雌二醇（2mg/天）以及安慰剂，对风险决策的研究采用 Sapienza 等人（2009）的风险诱发范式，得到了负性结果：无论是睾酮给药或是雌二醇给药的被试，在风险寻求上都没有显著的改变（Zethraeus et al., 2009）；Wu 等人（2016）在安慰剂对照的双盲条件下观察了 26 名女性在风险赌博任务中的决策，发现睾酮降低了输钱之后的风险寻求，可能是因为睾酮降低了人对惩罚结果的敏感度，从而影响决策行为。

2.2.3 组织效应与风险决策

对于经济性决策，产前暴露接触雄性激素水平越高，风险寻求倾向越强，这一假设已经被部分验证（Stenstrom & Saad, 2011），但是仍然缺乏清晰的数据支撑。最早检验 2D:4D 与风险寻求关系的研究是 Dreber 和 Hoffman 在 2007 年进行的，他们采用了与 Apicella 相似的投资任务，在 147 名同时包括男性和女性的瑞典被试群体中，观察到了较低的 2D:4D 与高风险寻求存在相关性，然而这种相关仅存在于左手的 2D:4D；同时，他们还招募了 116 名美国人作为第二个样本群体，却没有发现 2D:4D 与风险寻求的直接关系（Dreber & Hoffman，2007）。

随后，Branas-Garza 和 Rustichini 研究了智力和睾酮水平对于风险寻求的影响，在赌博风险任务中，被试右手 2D:4D 的比例越低，越偏向于选择风险较大的选项，而且这一现象是在高智力分数下观察到的，Branas-Garza 和 Rustichini 据此推论，智商有可能是睾酮与风险寻求的调节变量（Branas-Garza & Rustichini，2011）。Garbarino 等人也得到了相似的结果，2D:4D 比例较小的男性和女性在风险决策任务中都倾向于选择风险更大的选项，并且男女性别之间 2D:4D 比例的差异可以部分解释男女性冒险行为的差异，而且在 2D:4D 分布中趋于极端值的男女性在风险寻求行为上的差异几乎完全消除，因此 2D:4D 可以部分解释性别内和性别之间的经济冒险行为（Garbarino，Slonim & Sydnor，2011）。

一项在民族混合样本(被试来自哥伦比亚，是美洲印第安人、西班牙人、非洲人混血的结果)研究产前睾酮暴露的研究发现，左手的 2D:4D 以及 rel2 比率（食指和其他手指长度之和的比例）可以预测个体的风险寻求，右手数据没有统计上显著的结果（Chicaiza-Becerra & Garcia-Molina，2017）。也有研究得到了负性的结果，Drichoutis 和 Nayga 尝试研究产前睾酮暴露（以 2D:4D 为指标）以及女性月经周期的雌二醇比例对风险偏好、时间偏好的影响，结果没有发现月经周期或是 2D:4D 对风险或时间偏好有效应（Drichoutis & Nayga，2014）。

上述研究结果表明，睾酮的水平和风险寻求的行为存在正相关关系，然而这个结果并不是普遍成立的，缺乏充足的重复验证，例如 Sapienza 等人尝试重复验证 Apicella 等 2008 年的研究，在男性被试上就没有得到一致结果；Derntl 等人用评估决策任务（evaluate decision-making task）来测量被试的风险寻求，结果也没有发现睾酮水平与风险寻求存在关系（Derntl et al., 2014）；这说明可能在睾酮与风险寻求之间还存在有其他需要考虑的因素，例如双荷尔蒙假说就提供了睾酮与皮质醇对风险寻求的协同作用，两者的比例影响了决策的结果，说明睾酮水平与风险寻求之间可能是非线性的关系，在未来研究中，其他激素的作用也应该被考虑进来，以揭示激素与风险寻求之间的关系。同时，从 2D:4D 现有的研究来看，2D:4D 可以调节睾酮外部给药的效应，这一方面需要更多神经生物学的解释；左右手的 2D:4D 存在差异，根据 Hönekopp 和 Watson（2010）的元分析结果，右手的 2D:4D 在性别差异上会比左手更大，但是在另外一篇元分析中，睾酮对于双手的 2D:4D 影响是没有差异的（Pfannkuche et al. 2009）。大部分的研究结果研究的都是右手的 2D:4D，事实上左手的 2D:4D 的显著结果比右手要更多，表明可能存在一定的报告偏差。在未来的研究中，应当关注睾酮与其他更多类型的经济性决策的关系，以探索睾酮与决策最本质的关联与机制。

3 讨论与展望

与前景理论、期望效用理论相比，研究者们从睾酮这一生物学角度出发，发现了决策行为的另一种解释角度，扩展了决策行为的生理解释基础，建立了决策与生理因素之间的联系。目前内源性睾酮、外源性睾酮给药以及 2D：4D 所反映的产前睾酮暴露接触水平得到的研究结果是相对比较一致的：高水平的睾酮在经济性决策中会增加个体的风险寻求倾向，这一现象与皮质醇的水平、产前睾酮暴露水平有关，并且出现了性别分离的现象；在社会性决策中，睾酮既能引发攻击、地位支配等反社会行为，也能增加利他、合作等亲社会行为，具体表现出哪种行为同样也会受到例如 2D:4D 等因素的调节，要进一步阐明睾酮与决策行为的关系，仍然需要更多研究来探索。睾酮与风险决策的研究众多，但是研究的可重复性较差，难以验证，因此还需要深入探索睾酮对风险决策影响的内在机制。同时，睾酮研究方面也需要进行一定的拓展、完善，如下：

（1）不同研究之间的结果难以重复验证，实验设计与操作仍然有较大的改善空间。

不同实验操作带来的睾酮操纵效果存在较大差异，例如舌下给药的方式可以将女性的睾酮水平提高十倍左右（Tuiten et al., 2000），但是男性的皮下穿透给药的效果只有两倍左右（Arnocky et al., 2016），将这两种实验结果放在一起解释显然并不太合理；同时，两种睾酮测量的方式也会带来水平上的不同，多数研究通过唾液对个体的睾酮水平进行测量，这种方法更为便捷且更容易通过伦理审核，但是如果要求更精准的睾酮水平应该采用血液测量的方式；对于产前睾酮水平暴露指标 2D：4D 的测量，一般采用扫描被试手掌图像再用图像处理软件进行测量，不可避免的会因为图片的分辨率以及手指脂肪等原因造成一定的误差，运用 X 光技术可以提高测量精度，因此，在进行研究或者尝试重复验证研究结果之前，研究者应当充分考虑到各种操作的准确性，避免因为操作带来误差而影响实验结果；在睾酮研究中，外部给药操作能够使得因果变得明确而慢慢得到了研究者的关注，例如大多数外部给药实验都使用了睾酮凝胶剂（Androgel），这种凝胶剂起效略缓慢，并且和真实决策情境中睾酮变化水平差异较大，要得到尽可能准确的结果，应该尝试在药理学中寻找能够模拟真实决策情境睾酮水平变化的即效药物；

在被试方面，与男性相比，女性的激素分泌更为复杂，而且会受到生活事件的影响（如怀孕，哺乳等），建议优先选择男性作为被试；内分泌异常的个体激素水平和常人有较大区别，也可以作为特殊被试群体加入研究。此外，目前几乎所有的睾酮与决策的研究都存在被试样本较小的现象，如果能进行较大样本（500 以上）的混合性别群体实验，不仅可以尽可能的消除小样本所带来的抽样误差，还有助于在多种激素作用下确定某种特定激素的作用（Stanton, 2017）；

当前大部分睾酮研究的结果都聚焦在行为层面上，其他层面的研究较为缺乏，需要从其他方面加以考虑。例如，在基因层面，Eisenegger 等人在对人类睾酮与竞争行为的研究中，将被试按照雄性激素受体基因的 CAG 重复多态性进行了分类，CAG 重复性越高，睾酮的作用越强；虽然在结果中，CAG 重复数量与竞争行为没有明显关系，但是较低 CAG 重复的个体在选择竞争后的信心会增加（Eisenegger et al.,2017）；除此之外，进行跨学科的研究，如通过内分泌学去解释睾酮在人体循环的作用机理以及影响人体的方式;通过神经影像学的方法去揭示睾酮对个体决策影响的具体区域与定位，并且可以以直观的结果呈现。这有助于解决目前睾酮与决策之间某些不一致的结果（如性别分化、个体差异等），将睾酮的作用结果清晰化呈现等在未来的研究是值得关注的。

（2）拓宽睾酮与决策的研究范围，研究在商业环境中睾酮的作用。

理论成果应当联系实际，寻找其应用价值，目前关于睾酮对经济性决策以及社会性决策的影响已经有一定结果，但是现实生活中的决策模型往往更为复杂。近年来，基于神经科学与市场研究的神经营销学（Neuromarketing）的概念出现并迅速发展，运用神经科学的研究方法，如功能核磁共振成像，脑电，生理学记录，经颅刺激等方式研究消费者对于潜在选择的预测过程以及丰富现有的消费者行为理论（Yoon et al., 2012），取得了一定的成果。

睾酮的组织效应对消费者行为的影响已经有了一些发现：Nepomuceno 等人发现，拥有较低 2D:4D 的男性会在求偶相关消费上投入更多，在交往信心较高的男性中更为明显，在女性中则相反，高 2D:4D 的女性投入在求偶相关消费上的金额更多（Nepomuceno et al., 2016）；2D:4D 还会影响消费者的购物习惯以及穿着，如男性消费者 2D:4D 的比率与对男性相关商品的偏好以及穿着的男性化呈负相关，但是在女性中不是这样（Aspara & Bergh., 2014）。炫耀性消费是指个体购买商品以表明社会地位的现象，Wu 等人（2017）对社会竞争、睾酮含量与炫耀性消费的关系进行了研究，虽然在竞争中获胜或者失败并没有引起显著的睾酮水平变化，但是赢得竞争增加了个体对高社会地位商品和低社会地位商品的显性和隐性偏好；他们还研究了睾酮外部给药及 2D:4D 与个体对于不同社会地位商品的外显及内隐偏好的关系，结果显示，外部睾酮给药对不同社会地位商品的外显或内隐态度没有显著影响，但是具有较低 2D:4D 的个体对于高社会地位商品的内隐态度更为积极，并且外部睾酮给药后会消除这种现象（Wu et al., 2017）；此外，在面对商品时，外部睾酮给药的被试会更容易受到诱饵效应的影响，即当被试面对两件属性各异的商品时，若出现某个比其中某一件商品稍差但接近的诱饵选项，睾酮组的被试会更容易选择那件商品（Liao et al.,2018）

对于睾酮的激活作用与消费决策的研究仍然存在较多空白，未来可以在这一方向进行深

入的探究：目前的研究都较为集中在基于社会地位或是交际的消费行为，对于涉及到风险概率的消费行为（如现实情境下的投资、保险以及贵重品等）同样具有研究潜力；消费者在做出决策前会受到广告或宣传的影响，睾酮是否会影响这一过程从而导致决策的偏移也是值得研究的；睾酮是否会影响更为复杂的营销决策（如收购、转让等）也需要更多研究来证实。

（3）关注青少年时期睾酮与决策的关系，如攻击性、冲动性等方面。

现有的关于睾酮与决策行为的研究，大多数选择了成年人作为被试群体，对于个体青少年时期的睾酮与决策行为的研究知之甚少。青少年的性激素水平在发育成熟之前与成年个体的性激素水平存在比较大的差异，因此也会带来决策行为上的不同，例如攻击性，睾酮与攻击性行为的关联在动物研究中得到了证实，但是对人类来说，特别是儿童和青少年个体中，则存在不一样的结论。先前的研究表明，这可能部分归因于其他荷尔蒙的调节作用，Popma等（2007）以 103 名处于犯罪分流计划（即有过攻击性行为）的男孩作为被试，研究了他们外显和内隐的攻击性与睾酮的关系，结果发现皮质醇对于睾酮与外显攻击性行为的关系有调节作用，但是对内隐攻击性没有影响；对于信任而言，在最后通牒博弈任务中发现，不同阶段青少年提出的方案没有显著差异，但是在考虑他人提供方案时的想法以及评估方案时，呈现出了随着年龄成长的差异（Güroglu, van den Bos & Crone, 2009）

在经济性决策方面，主要关注的方面是冲动性。有研究发现青少年伏隔核活性的变化与睾酮水平以及奖励的敏感性变化有关（Braams et al., 2015）；Cardoos 等人（2017）研究了 10-14 岁女孩风险寻求水平、睾酮与社会地位的关系，结果显示，青春期成熟程度较高以及睾酮水平较高的女孩更愿意在经济决策中寻求风险收益以获得更高的社会地位；同年，一项基于跨期选择的研究显示，在青春期发育过渡期的 72 名男孩被试中（11-14 岁），具有高水平睾酮（但是年龄上没有显著年长）的被试会对即时奖励更为敏感，表现出更强的冲动性；然而如果是年长个体（但是睾酮水平没有显著高于其他个体）的被试则会减少冲动性，在任务中表现得更为耐心（Laube et al.,2017）。开展关青少年睾酮水平与决策的研究，可以对青少年成长过程中异常行为进行预测以及有效的控制，促进青少年的健康成长。

（4）开展更多的精神病学临床研究

睾酮作为一种重要的荷尔蒙，在临床研究上是非常有意义的，目前已有研究发现睾酮和精神疾病的相关性，例如：1.产前个体暴露在较高的睾酮水平中可能会导致孤独症，即极端男性大脑理论（Extreme male brain theory），该理论最早由 Asperger 于 1944 年提出，后来 Baron-Cohen（2002）对男性的大脑进行了分类，发现极端系统化的男性都伴随着较低的 2D:4D，为极端男性大脑理论提供了一定的支持；2.睾酮能够有效的降低恐惧感，Hermans

（2008）等发现，睾酮能降低个体对于愤怒面孔的恐惧感。一般认为愤怒的面孔表达了潜在的危险信号，而睾酮能够提高个体的支配性，将这种危险信号当作是一种挑战，可能会和无畏型精神病性人格有关；3.焦虑和抑郁，在抑郁障碍和焦虑障碍的个体中，睾酮水平有明显的下降情况，通过五羟色胺再摄取抑制剂（SSRI）药物进行治疗的个体，唾液中的睾酮含量上升，这一现象揭示了睾酮可能与焦虑抑郁的治疗存在一定的关系（Gitlay et al., 2012）。

同时，决策障碍往往是某些精神疾病的标志，例如 Shurman 等人（2005）发现，在爱荷华赌博任务中，相比正常被试，精神分裂症被试会表现出更为折中的决策模式。目前睾酮与精神疾病的相关研究较为成熟，但是较少将决策也纳入研究范围，作为精神疾病的典型症状之一，关注睾酮和决策在精神疾病人群中的临床研究，能够使研究者们观察到更多精神病性相关结果，为睾酮相关精神病学提供参照与支持。

参考文献

李纾,梁竹苑,孙彦.人类决策:基础科学研究中富有前景的学科[J].*中国科学院院刊*,2012,27(S1):52−65.

刘金婷,刘思铭,曲路静,钟茹,詹稼毓,蒋玉石,吴寅.睾酮与人类社会行为[J].*心理科学进展*,2013,*21*(11):1956−1966.

Adkins-Regan, E. (2005). *Hormones and animal social behavior*: Princeton University Press.

Anderl, C., Hahn, T., Schmidt, A.-K., Moldenhauer, H., Notebaert, K., Clément, C. C., & Windmann, S. (2016). Facial width-to-height ratio predicts psychopathic traits in males. *Personality and Individual Differences, 88*, 99−101.

Apicella, C. L., Carré, J. M., & Dreber, A. (2015). Testosterone and economic risk taking: A review. *Adaptive Human Behavior and Physiology, 1*(3), 358−385.

Apicella, C. L., Dreber, A., Campbell, B., Gray, P. B., Hoffman, M., & Little, A. C. (2008). Testosterone and financial risk preferences. *Evolution and Human Behavior*, *29*(6), 384−390.

Apicella, C. L., Dreber, A., & Mollerstrom, J. (2014). Salivary testosterone change following monetary wins and losses predicts future financial risk-taking.*Psychoneuroendocrinology*, *39*, 58−64.

Archer, J. (2006). Testosterone and human aggression: an evaluation of the challenge hypothesis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *30*(3), 319−345.

Arnocky, S., Taylor, S. M., Olmstead, N. A., & Carré, J. M. (2017). The effects of exogenous testosterone on men's moral decision-making. *Adaptive Human Behavior and Physiology*, *3*(1), 1–13.

Aspara, J., & Van Den Bergh, B. (2014). Naturally designed for masculinity vs. femininity? Prenatal testosterone predicts male consumers' choices of gender-imaged products.*International Journal of Research In Marketing*, *31*(1), 117–121.

Bailey, A. A., & Hurd, P. L. (2005). Finger length ratio (2D: 4D) correlates with physical aggression in men but not in women. *Biological Psychology*, *68*(3), 215–222.

Barel, E., Shahrabani, S., & Tzischinsky, O. (2017). Sex hormone/cortisol ratios differentially modulate risk-taking in men and women. *Evolutionary Psychology*, *15*(1), 1474704917697333.

Baron-Cohen, S. (2002). The extreme male brain theory of autism. *Trends in cognitive sciences*, *6*(6), 248–254.

Barsky, R. B., Juster, F. T., Kimball, M. S., & Shapiro, M. D. (1997). Preference parameters and behavioral heterogeneity: An experimental approach in the health and retirement study. *The Quarterly Journal of Economics*, *112*(2), 537–579.

Berg, J., Dickhaut, J., & McCabe, K. (1995). Trust, reciprocity, and social history. *Games and Economic Behavior*, *10*(1), 122–142.

Boksem, M. A., Mehta, P. H., Van den Bergh, B., van Son, V., Trautmann, S. T., Roelofs, K., . . . Sanfey, A. G. (2013). Testosterone inhibits trust but promotes reciprocity. *Psychological Science*, *24*(11), 2306–2314.

Bos, P. A., Terburg, D., & Van Honk, J. (2010). Testosterone decreases trust in socially naive humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(22), 9991−9995.

Bos, P. A., Panksepp, J., Bluthé, R. M., & van Honk, J. (2012). Acute effects of steroid hormones and neuropeptides on human social–emotional behavior: a review of single administration studies. *Frontiers in neuroendocrinology*, *33*(1), 17–35.

Braams, B. R., Peper, J. S., van der Heide, D., Peters, S., & Crone, E. A. (2016). Nucleus accumbens response to rewards and testosterone levels are related to alcohol use in adolescents and young adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*, *17*, 83–93.

Brañas-Garza, P., & Rustichini, A. (2011). Organizing effects of testosterone and economic behavior: Not just risk taking. *PloS one*, *6*(12), e29842.

Buskens, V., Raub, W., Van Miltenburg, N., Montoya, E. R., & Van Honk, J. (2016). Testosterone administration moderates effect of social environment on Trust in Women Depending on second-to-fourth digit ratio. *Scientific Reports*, *6*, 27655.

Cardoos, S. L., Suleiman, A. B., Johnson, M., van den Bos, W., Hinshaw, S. P., & Dahl, R. E. (2017). Social status strategy in early adolescent girls: Testosterone and value-based decision making. *Psychoneuroendocrinology*, *81*, 14–21.

Carney, D. R., Cuddy, A. J., & Yap, A. J. (2010). Power posing: Brief nonverbal displays affect neuroendocrine levels and risk tolerance. *Psychological Science*, *21*(10), 1363–1368.

Casto, K. V., & Prasad, S. (2017). Recommendations for the study of women in hormones and competition research.*Hormones and Behavior*, *92*, 190−194.

Carré, J. M., & McCormick, C. M. (2008). In your face: facial metrics predict aggressive behaviour in the laboratory and in varsity and professional hockey players.*Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *275*(1651), 2651–2656.

Carré, J. M., McCormick, C. M., & Mondloch, C. J. (2009). Facial structure is a reliable cue of aggressive behavior. *Psychological Science*, *20*(10), 1194–1198.

Chicaiza-Becerra, L. A., & Garcia-Molina, M. (2017). Prenatal testosterone predicts financial risk taking: Evidence from Latin America. *Personality and Individual Differences*, *116*, 32–37.

Delgado, M. R., Frank, R. H., & Phelps, E. A. (2005). Perceptions of moral character modulate the neural systems of reward during the trust game. *Nature Neuroscience*, *8*(11), 1611.

Derntl, B., Pintzinger, N., Kryspin-Exner, I., & Schöpf, V. (2014). The impact of sex hormone concentrations on decision-making in females and males. *Frontiers in Neuroscience*, *8*, 352.

Diekhof, E. K., Wittmer, S., & Reimers, L. (2014). Does competition really bring out the worst? Testosterone, social distance and inter-male competition shape parochial altruism in human males. *PloS one*, *9*(7), e98977.

Dixson, A. (1998). *Primate sexuality*. John Wiley & Sons, Ltd.

Dohmen, T., Falk, A., Huffman, D., Sunde, U., Schupp, J., & Wagner, G. G. (2011). Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. *Journal of the European Economic Association*, *9*(3), 522–550.

Do Rego, J. L., Seong, J. Y., Burel, D., Leprince, J., Tsutsui, K., Tonon, M. C., ... & Vaudry, H. (2009). Neurosteroid biosynthesis: enzymatic pathways and neuroendocrine regulation by neurotransmitters and neuropeptides. *Frontiers in neuroendocrinology*, *30*(3), 259–301.

Dreher, J.-C., Dunne, S., Pazderska, A., Frodl, T., Nolan, J. J., & O'Doherty, J. P. (2016). Testosterone causes both prosocial and antisocial status-enhancing behaviors in human males. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(41), 11633–11638.

Drichoutis, A. C., & Nayga, R. M. (2015). Do risk and time preferences have biological roots? *Southern Economic Journal*, *82*(1), 235–256.

Eisenegger, C., Kumsta, R., Naef, M., Gromoll, J., & Heinrichs, M. (2017). Testosterone and androgen receptor gene polymorphism are associated with confidence and competitiveness in men. *Hormones and Behavior*, *92*, 93–102.

Eisenegger, C., von Eckardstein, A., Fehr, E., & von Eckardstein, S. (2013). Pharmacokinetics of testosterone and estradiol gel preparations in healthy young men.*Psychoneuroendocrinology*, *38*(2), 171–178.

Fehr, E., & Camerer, C. F. (2007). Social neuroeconomics: the neural circuitry of social preferences. *Trends in cognitive sciences*, *11*(10), 419–427.

Fumagalli, M., Ferrucci, R., Mameli, F., Marceglia, S., Mrakic-Sposta, S., Zago, S., . . . Pravettoni, G. (2010). Gender-related differences in moral judgments. *Cognitive Processing*, *11*(3), 219–226.

Garbarino, E., Slonim, R., & Sydnor, J. (2011). Digit ratios (2D: 4D) as predictors of risky decision making for both sexes. *Journal of Risk and Uncertainty*, *42*(1), 1–26.

Giltay, E. J., Enter, D., Zitman, F. G., Penninx, B. W., van Pelt, J., Spinhoven, P., & Roelofs, K. (2012). Salivary testosterone: associations with depression, anxiety disorders, and antidepressant use in a large cohort study. *Journal of psychosomatic research*, *72*(3), 205–213.

Gneezy, U., & Potters, J. (1997). An experiment on risk taking and evaluation periods. *The Quarterly Journal of Economics*, *112*(2), 631–645.

Goudriaan, A. E., Lapauw, B., Ruige, J., Feyen, E., Kaufman, J.-M., Brand, M., & Vingerhoets, G. (2010). The influence of high-normal testosterone levels on risk-taking in healthy males in a 1-week letrozole administration study. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(9), 1416–1421.

Güroğlu, B., van den Bos, W., & Crone, E. A. (2009). Fairness considerations: increasing understanding of intentionality during adolescence. *Journal of Experimental Child Psychology*, *104*(4), 398–409.

Güth, W., & Kliemt, H. (1994). Competition or co-operation: on the evolutionary economics of trust, exploitation and moral attitudes. *Metroeconomica*, *45*(2), 155−187.

Güth, W., Schmittberger, R., & Schwarze, B. (1982). An experimental analysis of ultimatum bargaining. *Journal of Economic Behavior & Organization*, *3*(4), 367–388.

Hamann, J., Cohen, R., Leucht, S., Busch, R., & Kissling, W. (2007). Shared decision making and long-term outcome in schizophrenia treatment. *The Journal of clinical psychiatry*.

Hartgens, F., & Kuipers, H. (2004). Effects of androgenic-anabolic steroids in athletes. *Sports Medicine*, *34*(8), 513–554.

Hermans, E. J., Ramsey, N. F., & van Honk, J. (2008). Exogenous testosterone enhances responsiveness to social threat in the neural circuitry of social aggression in humans. *Biological psychiatry*, *63*(3), 263–270.

Holt, C. A., & Laury, S. K. (2002). Risk aversion and incentive effects. *American Economic Review*, *92*(5), 1644–1655.

Hönekopp, J., & Watson, S. (2010). Meta-analysis of digit ratio 2D: 4D shows greater sex difference in the right hand. *American Journal of Human Biology, 22*(5), 619–630.

Iredale, W., Van Vugt, M., & Dunbar, R. (2008). Showing off in humans: Male generosity as a mating signal. *Evolutionary Psychology*, *6*(3), 147470490800600302.

Izuma, K., Saito, D. N., & Sadato, N. (2010). Processing of the incentive for social approval in the ventral striatum during charitable donation. *Journal of cognitive neuroscience*, *22*(4), 621–631.

Janis, I. L., & Mann, L. (1977). *Decision making: A psychological analysis of conflict, choice, and commitment*. New York, NY, US: Free Press.

Kernberg, O. F. (1995). *Aggression in personality disorders and perversions*. Yale University Press.

Kosfeld, M., Heinrichs, M., Zak, P. J., Fischbacher, U., & Fehr, E. (2005). Oxytocin increases trust in humans. *Nature*, *435*(7042), 673.

Laube, C., Suleiman, A. B., Johnson, M., Dahl, R. E., & van den Bos, W. (2017). Dissociable effects of age and testosterone on adolescent impatience.*Psychoneuroendocrinology*, *80*, 162–169.

Liao, J., Zhang, Y., Li, Y., Li, H., Zilioli, S., & Wu, Y. (2018). Exogenous testosterone increases decoy effect in healthy males. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2188.

Lippa, R. A. (2003). Are 2D: 4D finger-length ratios related to sexual orientation? Yes for men, no for women. *Journal of personality and social psychology*, *85*(1), 179.

Malmendier, U., & Nagel, S. (2011). Depression babies: do macroeconomic experiences affect risk taking? *The Quarterly Journal of Economics*, *126*(1), 373–416.

Manning, J. T., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Sanders, G. (2001). The 2nd to 4th digit ratio and autism. *Developmental Medicine and Child Neurology, 43*(3), 160–164.

Manning, J. T., Scutt, D., Wilson, J., & Lewis-Jones, D. I. (1998). The ratio of 2nd to 4th digit length: a predictor of sperm numbers and concentrations of testosterone, luteinizing hormone and oestrogen. *Human Reproduction (Oxford, England), 13*(11), 3000–3004.

Manning, J. T., & Taylor, R. P. (2001). Second to fourth digit ratio and male ability in sport: implications for sexual selection in humans. *Evolution and Human Behavior, 22*(1), 61–69.

McCall, C., & Singer, T. (2012). The animal and human neuroendocrinology of social cognition, motivation and behavior. *Nature neuroscience*, *15*(5), 681.

Mehta, P. H., & Beer, J. (2010). Neural mechanisms of the testosterone–aggression relation: the role of orbitofrontal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 22*(10), 2357–2368.

Mehta, P. H., Jones, A. C., & Josephs, R. A. (2008). The social endocrinology of dominance: basal testosterone predicts cortisol changes and behavior following victory and defeat. *Journal of Personality and Social Psychology, 94*(6), 1078.

Mehta, P. H., Welker, K. M., Zilioli, S., & Carré, J. M. (2015). Testosterone and cortisol jointly modulate risk-taking. *Psychoneuroendocrinology, 56*, 88–99.

Montoya, E. R., Terburg, D., Bos, P. A., Will, G.-J., Buskens, V., Raub, W., & van Honk, J. (2013). Testosterone administration modulates moral judgments depending on second-to-fourth digit ratio. *Psychoneuroendocrinology, 38*(8), 1362–1369.

Nelson, R. J. (2011). *An introduction to behavioral endocrinology*: Sinauer Associates.

Nepomuceno, M. V., Saad, G., Stenstrom, E., Mendenhall, Z., & Iglesias, F. (2016). Testosterone & gift-giving: Mating confidence moderates the association between digit ratios (2D: 4D and rel2) and erotic gift-giving. *Personality and Individual Differences, 91*, 27–30.

Pfannkuche, K. A., Bouma, A., & Groothuis, T. G. (2009). Does testosterone affect lateralization of brain and behaviour? A meta-analysis in humans and other animal species.*Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1519), 929–942.

Popma, A., Vermeiren, R., Geluk, C. A., Rinne, T., van den Brink, W., Knol, D. L., . . . Doreleijers, T. A. (2007). Cortisol moderates the relationship between testosterone and aggression in delinquent male adolescents. *Biological Psychiatry, 61*(3), 405–411.

Probst, F., Golle, J., Lory, V., & Lobmaier, J. S. (2018). Reactive aggression tracks within-participant changes in women's salivary testosterone. *Aggressive behavior*.

Roberti, J. W. (2004). A review of behavioral and biological correlates of sensation seeking. *Journal of Research in Personality, 38*(3), 256–279.

Roney, J. R., Lukaszewski, A. W., & Simmons, Z. L. (2007). Rapid endocrine responses of young men to social interactions with young women. *Hormones and Behavior*, *52*(3), 326–333.

Sanfey, A. G. (2007). Social decision-making: insights from game theory and neuroscience. *Science, 318*(5850), 598–602.

Sanfey, A. G., Rilling, J. K., Aronson, J. A., Nystrom, L. E., & Cohen, J. D. (2003). The neural basis of economic decision-making in the ultimatum game. *Science, 300*(5626), 1755–1758.

Sapienza, P., Zingales, L., & Maestripieri, D. (2009). Gender differences in financial risk aversion and career choices are affected by testosterone. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(36), 15268–15273.

Schaal, B., Tremblay, R. E., Soussignan, R., & Susman, E. J. (1996). Male testosterone linked to high social dominance but low physical aggression in early adolescence.*Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, *35*(10), 1322–1330.

Schipper, B. C. (2014). Sex hormones and choice under risk.

Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., & Sisk, C. L. (2009). Back to the future: the organizational–activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Hormones and Behavior*, *55*(5), 597–604.

Schurr, A., & Ritov, I. (2016). Winning a competition predicts dishonest behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(7), 1754–1759.

Shurman, B., Horan, W. P., & Nuechterlein, K. H. (2005). Schizophrenia patients demonstrate a distinctive pattern of decision-making impairment on the Iowa Gambling Task. *Schizophrenia research*, *72*(2-3), 215–224.

Smith, K. M., & Apicella, C. L. (2017). Winners, losers, and posers: The effect of power poses on testosterone and risk-taking following competition. *Hormones and Behavior*, *92*, 172–181.

Stanton, S. J. (2011). The essential implications of gender in human behavioral endocrinology studies. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *5*, 9

Starcke, K., & Brand, M. (2012). Decision making under stress: a selective review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *36*(4), 1228–1248..

Stenstrom, E., Saad, G., Nepomuceno, M. V., & Mendenhall, Z. (2011). Testosterone and domain-specific risk: Digit ratios (2D: 4D and rel2) as predictors of recreational, financial, and social risk-taking behaviors. *Personality and Individual Differences*, *51*(4), 412–416.

Stirrat, M., & Perrett, D. I. (2010). Valid facial cues to cooperation and trust: Male facial width and trustworthiness. *Psychological Science*, *21*(3), 349–354.

Strang, S., Gerhardt, H., Marsh, N., Artigas, S. O., Hu, Y., Hurlemann, R., & Park, S. Q. (2017). A matter of distance—The effect of oxytocin on social discounting is empathy-dependent. *Psychoneuroendocrinology*, *78*, 229–232.

Thornhill, R., & Møller, A. P. (1997). Developmental stability, disease and medicine. *Biological Reviews*, *72*(4), 497–548.

Tuiten, A., Van Honk, J., Koppeschaar, H., Bernaards, C., Thijssen, J., & Verbaten, R. (2000). Time course of effects of testosterone administration on sexual arousal in women. *Archives of Heneral Psychiatry, 57*(2), 149–153.

Tversky, A., Slovic, P., & Kahneman, D. (1990). The causes of preference reversal. *The American Economic Review*, 204–217.

Van Goozen, S. H., Cohen-Kettenis, P. T., Gooren, L. J., Frijda, N. H., & Van de Poll, N. E. (1994). Activating effects of androgens on cognitive performance: Causal evidence in a group of female-to-male transsexuals. *Neuropsychologia*,*32*(10), 1153–1157.

Van Honk, J., Montoya, E. R., Bos, P. A., Van Vugt, M., & Terburg, D. (2012). New evidence on testosterone and cooperation. *Nature, 485*(7399), E4.

van Honk, J., & Schutter, D. (2007). Vigilant and avoidant responses to angry facial expressions. *Social neuroscience: Integrating Biological and Psychological Explanations of Social Behavior*, 197–223.

van Honk, J., Schutter, D. J., Hermans, E. J., Putman, P., Tuiten, A., & Koppeschaar, H. (2004). Testosterone shifts the balance between sensitivity for punishment and reward in healthy young women. *Psychoneuroendocrinology, 29*(7), 937–943.

van Honk, J., Tuiten, A., Hermans, E., Putnam, P., Koppeschaar, H., Thijssen, J., . . . van Doornen, L. (2001). A single administration of testosterone induces cardiac accelerative responses to angry faces in healthy young women. *Behavioral Neuroscience, 115*(1), 238.

Weston, E. M., Friday, A. E., Johnstone, R. A., & Schrenk, F. (2004). Wide faces or large canines? The attractive versus the aggressive primate. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 271*(Suppl 6), S416–S419.

Wingfield, J. C., Hegner, R. E., Dufty Jr, A. M., & Ball, G. F. (1990). The" challenge hypothesis": theoretical implications for patterns of testosterone secretion, mating systems, and breeding strategies. *The American Naturalist, 136*(6), 829–846.

Wirth, M. M., Welsh, K. M., & Schultheiss, O. C. (2006). Salivary cortisol changes in humans after winning or losing a dominance contest depend on implicit power motivation. *Hormones and Behavior*, *49*(3), 346–352.

Wolf, O. T., Preut, R., Hellhammer, D. H., Kudielka, B. M., Schürmeyer, T. H., & Kirschbaum, C. (2000). Testosterone and cognition in elderly men: a single testosterone injection blocks the practice effect in verbal fluency, but has no effect on spatial or verbal memory. *Biological Psychiatry*, *47*(7), 650–654.

Wu, Y., Eisenegger, C., Sivanathan, N., Crockett, M. J., & Clark, L. (2017). The role of social status and testosterone in human conspicuous consumption. *Scientific Reports*, *7*(1), 11803.

Wu, Y., Zilioli, S., Eisenegger, C., Clark, L., & Li, H. (2017). The Effect of Testosterone Administration and Digit Ratio (2D: 4D) on Implicit Preference for Status Goods in Healthy Males. *Frontiers in Behavioral Neuroscience, 11*, 193.

Yoon, C., Gonzalez, R., Bechara, A., Berns, G. S., Dagher, A. A., Dubé, L., . . . Plassmann, H. (2012). Decision neuroscience and consumer decision making. *Marketing Letters, 23*(2), 473–485.

Zethraeus, N., Kocoska-Maras, L., Ellingsen, T., Von Schoultz, B., Hirschberg, A. L., & Johannesson, M. (2009). A randomized trial of the effect of estrogen and testosterone on economic behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 106*(16), 6535–6538.

Testosterone and human decision-making

LIAO Jiajun[1,2]; LI Hong[1,2]; WU Yin[1,2]

([1]*Shenzhen Key Laboratory of Affective and Social Cognitive Science, Shenzhen University, Shenzhen* 518060, *China*)

([2]*College of Psychology and Sociology, Shenzhen University, Shenzhen* 518060, *China*)

Abstract: Testosterone is one of the steroid hormones (i.e. androgen). Early research has shown that testosterone played a large role in the human aggressive and impulsive behavior. There is increasing interest in the effects of testosterone on human decision-making, including social (i.e. trust, cooperation, altruism, and competition) and economic decision-making (i.e. risk taking). In general, there is a positive association between testosterone level and risk-seeking behavior in economic decision-making. In the social domain, high testosterone levels are associated with more aggressive, dominant, and fairness behavior. Testosterone administration also reduced interpersonal trust. Note that some findings are hard to replicate, and more research is needed to investigate potential moderators. Future research could fruitfully explore the role of testosterone in consumer decision-making, adolescent's social behavior and clinical application.

Key words testosterone; decision making; risk seeking; trust; fairness